

Bir Kireçtaşı Sahasının Sayısal Yöntemler ile Kalite Modellemesi

S. Yüksek, B. Erdem & F.Y. Açık

Cumhuriyet Üniversitesi. Maden Mühendisliği Bölümü. Sivas

ÖZET: Günümüz maden işletmeciliği anlayışında maden yatağının özellikle endüstriyel hammadde kaynağının tonajını belirlemekten çok hammaddenin kalite dağılımının belirlenmesi esastır. Bu işlemin klasik yaklaşımlar ile tamamlanması güçtür. Hammadde ve cevher gövdesinde bulunan empirik tanımlayan parametrelerin kısa mesafeler ve farklı doğrultular boyunca değişimlerinin sayısal olarak belirlenebilmesi ancak bilgisayar destekli yaklaşımlar kullanılarak yapılabilmektedir.

Bu çalışmada bir kireçtaşı sahasında yapılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılmış ve hammadde kalite dağılımı, bilgisayar ortamında Üç boyutlu sayısal analizler yapılarak, belirlenmiştir. Bu amaca yönelik olarak sondaj verileri jeolojik ve istatistiksel açılarından değerlendirilmiştir. Daha sonra meşaleyle ters ağırlıklı metot (İd) ve kriging gibi interpolasyon teknikleri aracılığıyla, oluşturulan blok model içerisindeki 25 m*25 m*4 m boyutlarındaki bloklar ile 12.5 m*12.5 m*4 m boyutlarındaki alt-bloklara lenör ataması yapılmıştır. Kriging yöntemi için yapılan variogram analizlerinde, serbest kireç (CaO) için değişik variogram grafikleri çizilerek sondaj boyunca matematiksel variogram'ın madogram ve buna en uygun modelin periyodik model olduğu belirlenmiştir. Diğer yönlerde ise farklı matematiksel denklemler ve modellerin denenmesi sonucunda colleogram ve covariogram grafiklerine küresel veya üssel modelin uygun olduğu ortaya konulmuştur.

Oluşturulan topografya modeli dikkate alınarak, düşey ve yatay boyutla kalite dağılımları belirlenmiştir. Çapraz-doğrulama analizi ile de tahminlerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

ABSTRACT: In current understanding of mining designation of quality distribution of raw material is essential rather than determining the total tonnage of a mineral deposit. Completion of this operation with traditional approach is difficult. Numerical description of changes in parameters, which define geomaterial and impurities in the ore body along short distances and different directions, can only be done via computer-aided approaches.

In this study data obtained from drilling works, which were done on a limestone field are utilized and quality distribution of raw material is determined by conducting three-dimensional numerical analyses on the computer. Towards this aim, drilling data were evaluated in geological and statistical views. Then, via interpolation techniques like inverse distance weighing and kriging, grades were assigned to blocks of 25 mx25 mx4 in and sub-blocks of 12.5 mx12.5 mx4 m dimensions within the block model. Variogram analyses were conducted for Kriging. Various variogram types were experimented for free lime (CaO) and graphs drawn. The most appropriate mathematical variogram along drill holes was concluded as madogram and the most appropriate model for madogram being periodical model. After conducting anisotropic studies with various mathematical models on different directions colleogram and covariogram graphs were best fitted with spherical or power models.

I GİRİŞ

Bir maden yatağının değerlendirilmesinde en önemli işlemlerden birisi veya birincisi arama veya sondaj verilerinin doğru, hassas ve güvenilir şekilde analiz edilerek rezervinin belirlenmesidir. Gerçekte rezerv

miktarından çok, tenor veya kalite dağılımının yüksek güvenilirlik ile bilinmesi önem taşımaktadır. Bir projenin başlangıcında yapılacak hataların büyük ekonomik kayıplara yol açacağı açıktır.

Bilgisayar teknolojisinin ve programlarının gelişmesi maden projesinin değerlendirilmesinde çoğunlukla avantaj ve faydalar sağlanmasının

yanında genellikle, paket program kullanımında bir çok hatalara diişilehilmektedir. Bu durum daha çok kullanıcının bilgi eksikliğinden ve program algoritmasını veya milliliğini yanlış anlamasından kaynaklanmaktadır.

Yapılan çoğu blok model çalışmalarında genellikle metalik cevher modelleri ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte son yıllarda endüstriyel hammaddelerin kalite dağılımının bilgisayar destekli olarak değerlendirilmesi yaygın hale gelmiştir.

Çimento sektörünün en önemli hammaddelerinden kireçtaşı içerisindeki CaO değerinin iki boyut (2D) yerine üç boyutta (3D) dağılımının interpolasyon teknikleriyle değerlendirilmesi kaçınılmaz olmuştur. Bu tekniklerden istatistiksel ve jeostatistiksel metotlar maden yatağının mineralizasyonundaki değişiklikleri göz önüne alan kalite tahmini ve/veya hesaplaması ile ilgili belirsizlikleri sayısallaştırmakta daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Rendu ve Malhieson 1992).

Bu çalışmada bir çimento fabrikasının kireçtaşı sahasında yapılmış olan araştırma sondajları bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak değerlendirilmiştir. Öncelikle kalite dağılımının doğru ve güvenilir olarak yapılabilmesi için, maden yatağı jeolojik açıdan incelenmiş, mevcut uincralleşmenin doğası ile sürekliliğini ortaya koymak için istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Bu bilgiler ışığında mesafeye ters ağırlıklı metot ile 4 m yüksekliğindeki bloklara CaO tenor atamaları yapılmıştır. Yine istatistiksel verilerden faydalanarak sondajlar boyunca ve itim yönlerde değişik variogram tipleri ve modelleri ile analizler yapılmıştır. Daha sonra kriging tekniği kullanılarak 25m*25m*4 m boyutlarındaki blokların CaO değerleri hesaplanmıştır.

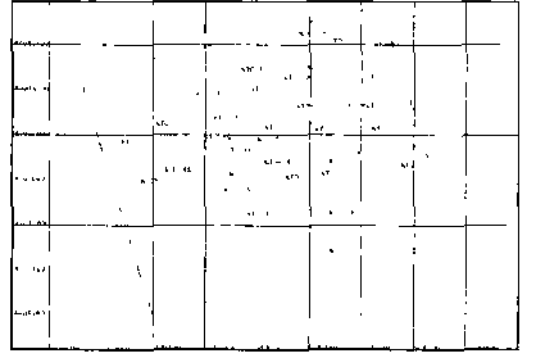
2 JROİ-OJİ \e İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME

Çalışma sahası Sivas il merkezinin 10 km batısında ver almaktadır. Bölgede daha önce yapılmış olan jeolojik çalışmalar (Özer 1988, Özdemir 1992) sahadaki kireçtaşı oluşumlarının kalınlığı 135 m ile 165 m arasında değişen travertenler olduğunu göstermektedir. Özdemir (1992) kayaçların, bej renkli ve gözenekli olduğunu, gözeneklerin yer yer ikincil kalsit ve aragonit ile dolduğunu, tabakalı yapının görülmesine rağmen masif kütlelerin yer yer kalınlaşıp incelendiğini, X-Ray incelemesinde ise hakim mineralin kalsit olduğunu belirtmektedir.

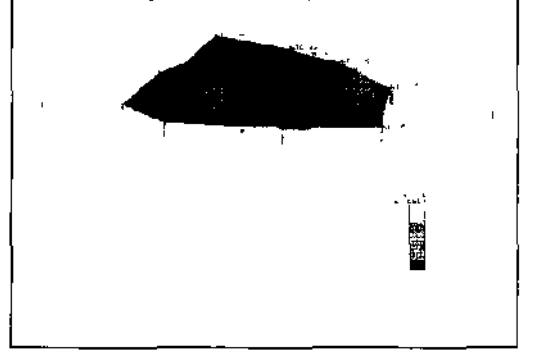
2.1 istatistiksel değerlendirme

Kalite dağılımını belirlemek amacıyla çalışına sahasında 1999-2000 yılları arasında 41 adet

araştırma ve geliştirme sondajı yapılmıştır. Derinlikleri 15 m (en kısa) ile 60,5 m (en uzun) arasında değişen sondajlar sığ olup, çoğunlukla faaliyetler başladıktan sonra yapıldıklarından, giriş kolları 1531 m ile 1353 m arasında değişmektedir ve düzensiz bir dağılıma sahip bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada sahanın belirli bir bölgesinde yoğunlaşan ve görece düzenli bir dizilime sahip olan 31 adet sondajın değerlendirilmesi yapılmıştır (Şekil 1 ve Şekil 2).



Şekil 1. Sondaj lokasyonları ve blok model sınırları



Şekil 2 Topografya ve blok model sınırları

Sondaj verileri bilgisayar ortamında bir tabloları programında düzenlenmiş ve maden tasarım paket programında kullanılmak üzere aktarılmıştır. Veri dosyası; sondaj koordinatları, metraj bazında kimyasal analiz değerleri, hammadde kalite değişkenleri (%CaO, %C?S, vb.) ile empürile değişkenlerini (%Fe₂O₃, %AUO₃, <JfMg₂O, *SiO₂) kapsamaktadır.

Geleneksel istatistiksel metotlar verilerin mevcut maden yatağının özelliklerini eşit olarak temsil ettiği kabulüne dayanmakta ve örneklerin birbirlerine görece fiziksel pozisyonları göz önüne alınmamaktadır. Bu nedenle istatistiksel yöntemler,

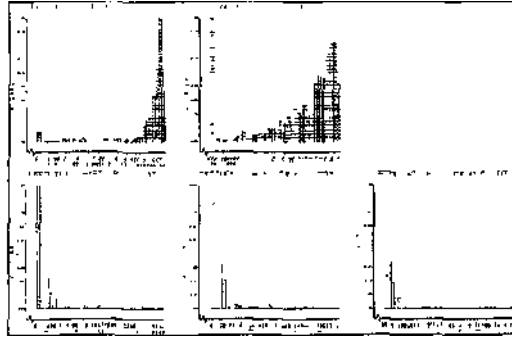
maden yatağının değerlendirilmesinde ön bilgi vermelerinin jam sıra kriging hesap l amal annin da temelini oluşturmaktadır (Clark 2002)

Sahadaki sondajların genel doğrultusu N75°L'dir. Bu nedenle blok mode) doğrultusu bu yönde seçilmiştir. Sondaj analiz değerlerine ait istatistiksel sonuçlar Çizelge I 'de verilmiştir.

Çizelge I. Sondaj analiz sonuçları istatistikleri

Veri	CaO	C,S	SiO*	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Örnek sayısı	656	656	656	656	656
Ortalama	48.6	2.81	5.84	1.58	0.69
Varyans	151.7(1)	1.51	101.56	6.63	2.06
Standart sapma	1232	1.23	10.08	2.58	1.44
Varianst	0.25	0.44	1.71	1.6*	2.18
Ortalama	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kıy	56.57	4.04	56.64	15.42	8.37
Aralık	56.57	4.04	56.64	15.42	8.37
Çamı	-0.11	-0.05	0.12	0.13	0.14
Kiosis	10.08	3.51	12.17	13.3	14.95

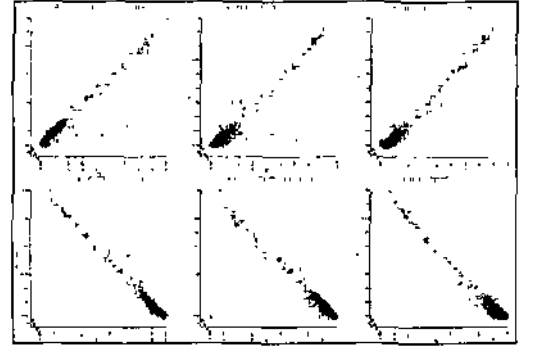
Tüm analiz sonuçlarına ait frekans dağılımları Şekil 3'de görülmektedir. CaO ve OS değerleri yüksek değerlerde yoğunlaşmış ve sola çarpık bir dağılım göstermektedir. Buna karşın diğer değerler düşük değerlerde yoğunlaşarak sağa çarpık bir dağılım göstermektedir. CaO için 4. m'lik kompozit değerlerin dağılımı da benzer şekilde sola çarpık bir dağılımdır. CaO - Fe₂O₃, CaO - Al₂O₃ ve CaO - SiO₂ arasında negatif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Buna karşın CaO dışındaki parametrelerin birbirleri arasında pozitif bir korelasyon olduğu görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 3 Analiz değerlerinin frekans dağılım grafikleri

Grafiklerden de görüleceği üzere CaO değerleri logaritmik bir dağılım gösterdiği için normal dağılım teorisinin uygulanması sorunlara neden olmaktadır.

Bu tür dağılımlar ilk olarak Atvika'daki altın yataklarının değerlendirilmesinde oluşturulmuştur (Sicfiel 1952). Daha sonra lognormal dağılımlar Krige (1960) ve Rendu (1981) tarafından tanımlanmıştır. Krige (1960) lognormal dağılımlarda sahil bir değer ekleyerek dağılıma "üç parametrelili lognormal dağılım" adını vermiştir. Bu parametreler; ortaklık, logaritmik varyans ve additive konstantıdır. Bu sabit, kümülatif frekans dağılım grafiğinden deneme yanılma yöntemi ile belirlenmektedir (Rendu ve Mahieson 1992).



Şekil 4 Analiz değerlerinin korelasyon grafikleri

3 TOPOGRAFIK MODEL VE BLOK MODEL

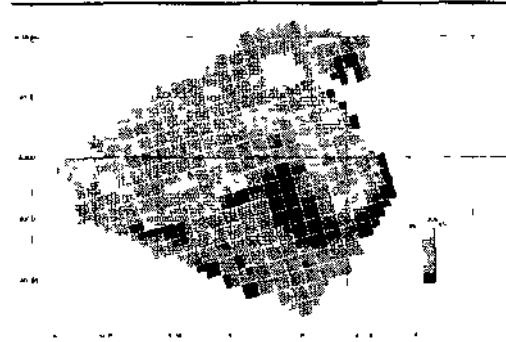
Çalışma sahasındaki sondajların tümünü kapsayacak şekilde sol alt köşe noktası: x:584000, y:4405300 ve z:1300 koordinatları arasında 600 m, 550 m ve 176 m boyutlarında büyük bir blok oluşturulmuştur. Bu blokun içerisinde 25 m, 25 m ve 4 m olan küçük bloklar ile x: 12,5 m, y: 12,5 m ve z: 4 m boyutlarında altı blok oluşturulmuştur. Sahanın sondajlar yapıldığı sıradaki topografyasına ait veri edinilemediğinden sondaj ağız koordinatları kullanılmış ve arazi rölyefi, tasarım paket programının üçgenleme tekniği aracılığıyla modellenmiştir (Bkz. Şekil 2). Böylece, büyük blok içerisinde bulunan ancak topografyanın üzerinde kalan boş bloklara değer atanması engellenmiştir.

3.1 İd Metodu ile Blokla-a Değer Atılması

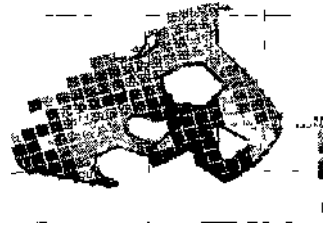
Mesafeye ters ağırlıklı yöntem (İd), ara değer yöntemlerinden en yaygın olanıdır. Bu metot, herhangi bir bloğa etrafında bulunan ve değeri bilinen sondajların mesafelerinin tersi (n=1, 2, 3) bir fonksiyonu şeklinde belirtilen ağırlıkları arasında kalkan ile değer alınmasına esasına dayanmaktadır (Crawford ve Hustrulid 1989).

Bu çalışmada yalnızca CaO'e ait kompozit değerleri kullanılarak değişik id parametreleri programa girilerek bloklar ve alt-blokların değerleri hesaplanmıştır Şekil 5'le tenor değerleri İd tekniği ile hesaplanan tüm blokların plan düzlemindeki görüntüsü verilmiştir. Topografya ile 1444 basamağındaki bloklar ise Şekil 6'da sunulmuştur. Kat bazında rezerv hesabına bir örnek olarak. 1344 basamağında oluşturulan poligon içerisindeki bloklar Şekil 7'de verilmiştir. Bu basamakta yerinde rezerv. %52-%54 CaO aralığında 90000 ton ve %54-%58 CaO aralığında 850000 ton olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama en alt basamaktan en üst kota kadar 4 metre aralıklarla kolaylıkla program aracılığıyla belirlenmektedir. Böylece her basamak için kalite-tonaj dağılımları bilinebilmektedir. Benzer hesaplamalar kesit düzlemi için de yapılabilmektedir.

Tasarım paket programda İd parametreleri değiştirilerek çok sayıda deneme yapılmış, çapraz doğrulama ile de tahmin değerlerinin doğruluğu incelenmiştir



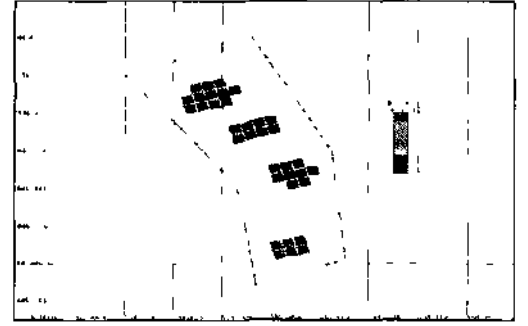
Şekil 5 Tenorları İt metodu ile hesaplanan tüm bloklar



Şekil 6 1444 katında tenor atanmış bloklar ve poligonun görüntüsü

3.2 Variogram Analizleri

Jeostatistik için temel öğelerinden olan variogram analizlerinin hatalı olarak yapılması krigin işlemlerinden de beklenmedik sonuçların elde edilmesine yol açmaktadır.



Şekil 7 Poligonla sınırlanmış 1344 katı bloklar

Kireçtaşı sahasındaki sondajlardan elde edilen örnek çiftleri arasındaki uzaysal ilişki, aşağıda listelenen variogram denklemleri kullanılarak araştırılmıştır:

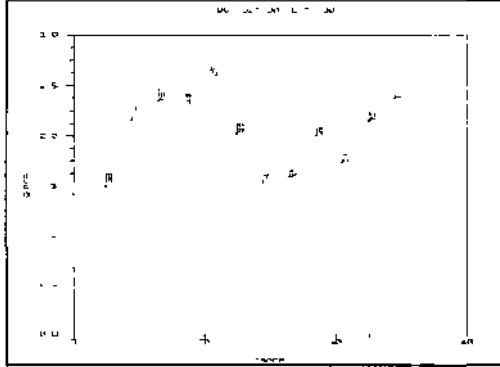
- General relative semivariogram
- Pairwise relative semivariogram
- Semivariogram
- Cross-semivariogram
- Covariance
- Correlogram
- Rodogram
- Madogram
- Semivariogramot logarithms.
- Indicator semi variogram

Her variogram için değişik {küresel, üssel, Gaussian, lineer, deWijian, periodic} modeller uydurulmuş ve bu modeller için en uygun parametreler belirlenmiştir. Şekil 8'de bu variogramlardan sondaj boyunca hesaplanan deneysel variogramlardan madogram grafiği görülmektedir.

Sondaj boyunca yapılan madogram grafiğinden, periyodik modelin en uygun model olduğu görülmektedir. Burada, 20 m ile 45 m arasında değişen mesafelerde varyans değerlerinin yüksek, 30 m mesafede düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum sahadaki kireçtaşının iki veya üç değişik şekilde tabakalandığına işaret etmektedir. Diğer bir deyişle derinlik boyunca (Z boyutunda) mineralleşme, tabakalar içinde süreklilik göstermektedir.

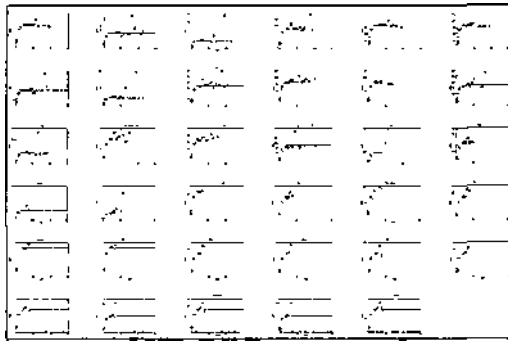
Benzer şekilde plan düzleminde (0°-180°) 15° ve düşey doğrultularda da 15° aralıklarla çizilen değişik

covariogram ve correlogram grafikleri analiz edilmiştir (Şekil 9, Şekil Iff ve Şekil II).

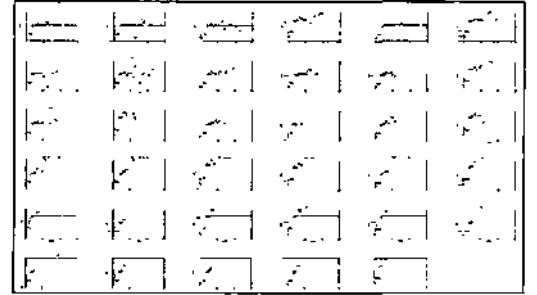


Şekil 8. Sondaj boyunca çizilen madogram grafiği

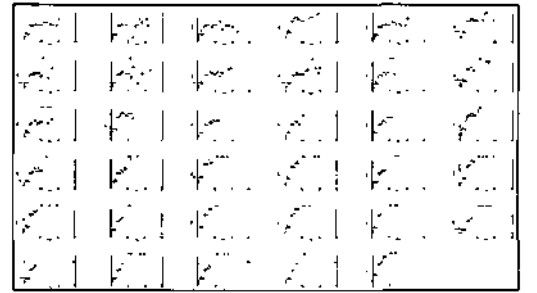
Belirtilen grafiklerde değişik doğrultu ve dalımdaki covariogram ve correlogram parametrelerinin (r , e ve $c_{..}$) birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Genelde tüm yönlerdeki söz konusu variogramlara uydurulan küresel veya üssel modellerin uygun olduğu görülmüştür. Bunlardan 90° doğrultudaki 0° ve 0° doğrultudaki -30° dalımdaki covariogram grafikleri sırasıyla Şekil 12 ve Şekil 13'de verilmiştir. Benzer şekilde 0° ve 180° doğrultusunda 0° ve -90° dalımdaki correlogram grafikleri Şekil 14 ve Şekil 15'te görülmektedir. Yapılan analizlere göre mineralleşme yatay yönde bir süreklilik göstermekte olup ana eksen etki yarıçapı 50 m ile 200 m arasında değişmektedir. Değişik yönlerdeki variogram değerleri kullanılarak izovariogram grafiği çizilmiştir. Buna göre kriging için kullanılacak elipsoidin yarıçapları belirlenmiştir.



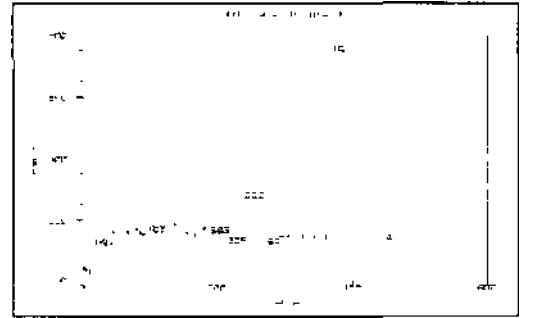
Şekil 9 Üç boyutta çizilmiş covariogram-küresel grafikleri



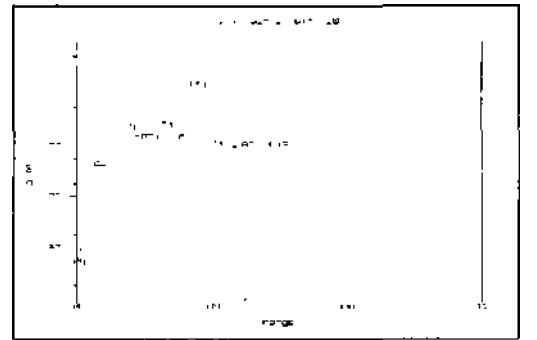
Şekil 10. Üç boyutta çizilmiş covariogram-küresel grafikleri



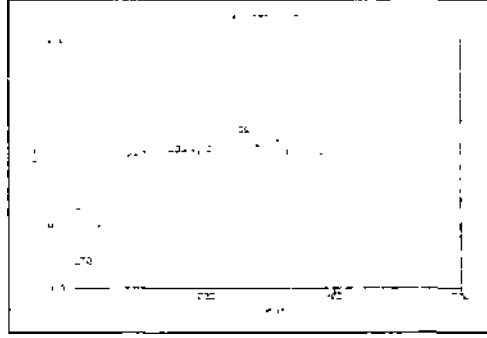
Şekil 11 Üç boyutta çizilmiş correlogram-üssel grafikleri



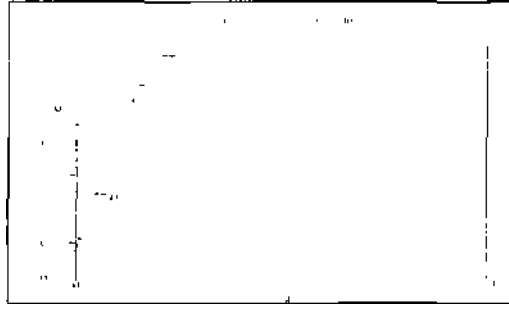
Şekil 12 Azimut 90° dalım 0° yönündeki covariogram



Şekil 13 Azimut 1° dalım -30° yönündeki covariogram



Şekil 14 Azımlı 0° dalm 0° yönündeki correlogram



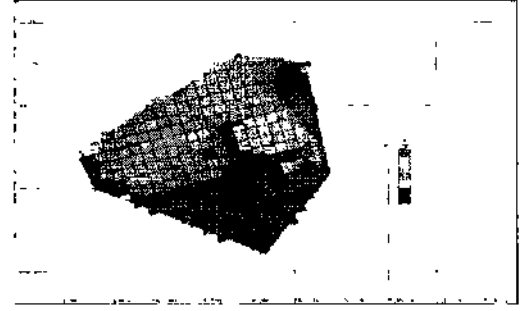
Şekil 15 IS A/ümü 180° dalm -90° yönündeki ti irre log ram

3.3 Kriging Tekniği Kullanılarak Bloklara Tenor Atanması

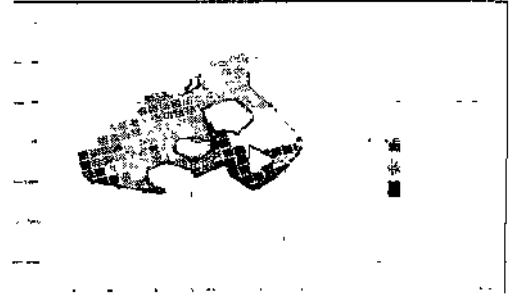
Daha Önce belirlenmiş olan variogram parametreleri kullanılarak kriging metoduyla mevcut blok modeldeki blok ve alt-blokların tenor değerleri hesaplanmıştır. Aşağıda örnek olarak jeostatistik tekniği ile hesaplanmış tüm bloklar ve 1444 katına ait bloklar topografya ile birlikte görülmektedir (Şekil 16 ve Şekil 17). Yine bu metotta programın çapraz doğrulama opsiyonu kullanılarak atanan tenor değerleri kontrol edilmiştir. Buna göre blokların çoğunluğu ± 3 arasında değişen aralıkta hata ile tahmin edilmiştir. Topografik model dikkate alındığı için, zemin üzerindeki (havada asılı bulunan) sanal bloklara değer atanması yapılmamıştır.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, Sivas ili merkezi yakınlarında bulunan bir kireçtaşı sahasının hammadde kalite dağılımını belirlemek amacıyla bilgisayar ortamında üç boyutlu sayısal analizi yapılmıştır.



Şekil 16 Kriging yöntemi ile hesaplanmış bloklar



Şekil 17 Kriging yöntemi ile 1444 katımla tenor atanmış bloklar

Yapılan istatistiksel incelemelerde CaO değerinin sola basık/çarpık, Fe_2O_3 , At_2O_3 ve SiO_2 değerlerinin sağa çarpık bir dağılım gösterdiği belirlenmiş ve hesaplamalarda bu durum dikkate alınmıştır. Diğer istatistiksel analizlerde hammadde (CaO) ile empürüteler (SiO_2 , Fe_2O_3 ve Al_2O_3) arasında negatif korelasyon bulunduğu sonucuna varılmıştır. Ancak empürüteler, kendi aralarında pozitif bir korelasyona sahip bulunmaktadır.

CaO için değişik variogram grafikleri çizilerek en uygun matematiksel variogramın sondaj boyunca madogram ve buna periyodik modelin uygun olduğu diğer yönlerde ise farklı matematiksel denklemlerin ve modellerin denenmesi sonucu en uygun variogram ve correlogram grafiklerine küresel veya üssel modelin uygun olduğu ortaya konmuştur. Variogramlardaki yatay yönde iki ve üç boyutlu farklılabakalanmanın var olabileceği, periyodik modelden anlaşılmıştır. Üç boyutlu variogram analizlerinden etki mesafesinin 50 m ile 200 m arasında olduğu saptanmıştır.

İd ve kriging interpolasyon teknikleri kullanılarak oluşturulan blok modeldeki blok ve alt-blokların CaO tenor değerleri atanmıştır. Hesaplanmış bloklar yatay ve düşey izdüşüm düzlemlerinde izlenebildiği gibi, her iki düzlemde de kalite aralıklarına bağlı tonaj miktarları ve toplam blokların tonajı

hesaplanmıştır. Modelle oluşturulan bloğun alt kotlarında kireçtaşı kütesinin jeolojik yorumunda belirtilen (yer yer kalınlaşıp incelmeyle) oluşuma uygun şekilde dışa doğru oluştuğu, yukarı kotlarda tüm sahaya uylan bir kubbe şeklinde olduğu görülmüştür.

Çalışmanın bir parçasını oluşturan sayısal modelleme ile sahadaki CaO için kalite dağılımı belirlenmiştir. Benzer şekilde sahadaki C₂S, SiO₂, Fe₂O₃ ve Al₂O₃ değerlerinin dağılımları sayısal olarak modellenecck durumdadır. Elde edilen bu model işletme tasarımları için kullanılabilir hale getirilmiştir.

KAYNAKLAR

Cl.ık. I. 20(12. Zeri) u> krtghu.; Kurs Notlan.

- Crawlbid. J.T., HiiMitlui. W.A., 19X9. *Open Pit Mine Pluming and Design*, AİMM.
- Ki igt. D.G., 1960, Ou ilt: Departure of Ore Value Distribution İnim ilt: Lognomul Model ın Soulh African Gutd Mines. *Jnurul id the Soulh Afiiau In.Mİlute of Minini; and Melalim*. Vol. 62. 345-164.
- Özdenin. M., 1992. *Sivas Çimento Fabrikası Hammadde Uçakları re Civarının Stratigrafisi*. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilinilen Enstitüsü. Sivas.
- Özer. B., 19KK. *Hayranlı-Çelev/er (Sivas) Yöresi Neoen Tortullarının Strat/grafik ve Seduuuntahjik (kellikleri*. Yüksek Lisans Tezi. Cumhuriyet Üniveisilesi Fen Bilimleri Küstiuisu. Sivas.
- Rendu. İM. ve Muthueson. G., 1992. *Smistical und Geostatistical Methods. Surjai e Minim*; Ed E.P V
- Rendu. J.M., 1981. *An Imroclucion tu Geiwtutisiical Methods of Mineral Evaluation. Smith Afiutun İiMitute uj Minini; and Meldurv Monograph Si-rw*. Johaunesbuig
- Sielhel. H.S., 1952. *New Methods in the Statistical Evaluation of Mine Sampling Data. Tranailinns IMM*. Vol 61. 261-288.

